



持続的なデンプン生産を目指したサゴヤシの群落構築過程の解析

著者	鍋谷 佳太
号	52
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	農博第1138号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00122771

なべや けいた

氏名（本籍地） 鍋谷 佳太

学位の種類 博士（農学）

学位記番号 農博第 1138 号

学位授与年月日 平成 28 年 3 月 25 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項

研究科，専攻 東北大学大学院農学研究科（博士課程）資源生物科学専攻

論文題目 持続的なデンプン生産を目指したサゴヤシの群落構築過程の解析

博士論文審査委員 （主査）教授 本間 香貴

教授 南條 正巳

准教授 伊藤 豊彰

論文内容要旨

持続的なデンプン生産を目指した
サゴヤシの群落構築過程の解析

東北大学大学院農学研究科

資源生物科学専攻

鍋谷 佳太

指導教員

本間 香貴 教授

第1章 緒言

ヤシ科には約 200 属 2,600 種が分類されているが、このうち、15 属数十種の植物において幹にデンプンを蓄積することが知られている。これら幹にデンプンを蓄積するヤシの中でも、サゴヤシ属 (*Metroxylon*) に属するサゴヤシ (*M. sagu* Rottb.) は、幹 1 本あたり約 300 kg のデンプンを収穫することができ、また、サッカー (Sucker) と呼ばれる分枝が地際付近から出現して次々と幹を形成するため、最もデンプン生産に優れたヤシと考えられている。サゴヤシは東南アジアからメラネシアまでの赤道付近の地域に生育している。現地では古くから、サゴヤシのデンプンがタロイモやバナナなどとともに食糧として利用されてきたが、近年は食生活の変化や農業技術の進歩により米に代わるなど、主食としての利用は減少している。一方で、サゴヤシは近年、世界のデンプン消費量の増加に伴い、工業原料用としてのデンプンを生産する作物として注目されている。

サゴヤシが分布している東南アジアの熱帯地域では、海沿いや川沿いに湿地帯が広がっており、湿地林が形成されている。この湿地林の下には熱帯泥炭質土壌が分布している。熱帯泥炭質土壌は地下水位が高く、養分が乏しいといった特徴がある。このため、農業的に利用する場合には排水によって地下水位を下げるとともに、湿地林の木本植物を焼却して養分を供給する土壌改良を行う必要がある。近年、熱帯地域で栽培が盛んなアブラヤシをはじめ、多くの作物はこのような土壌改良を行って栽培されている。しかしながら、サゴヤシは土壌改良を行わずに、湿地林の土壌環境を維持したままで栽培することができ、環境への負荷も小さいと考えられる。さらに、既存の農地を利用する必要がないことから、他の作物との農地の競合を避けられる可能性もある。

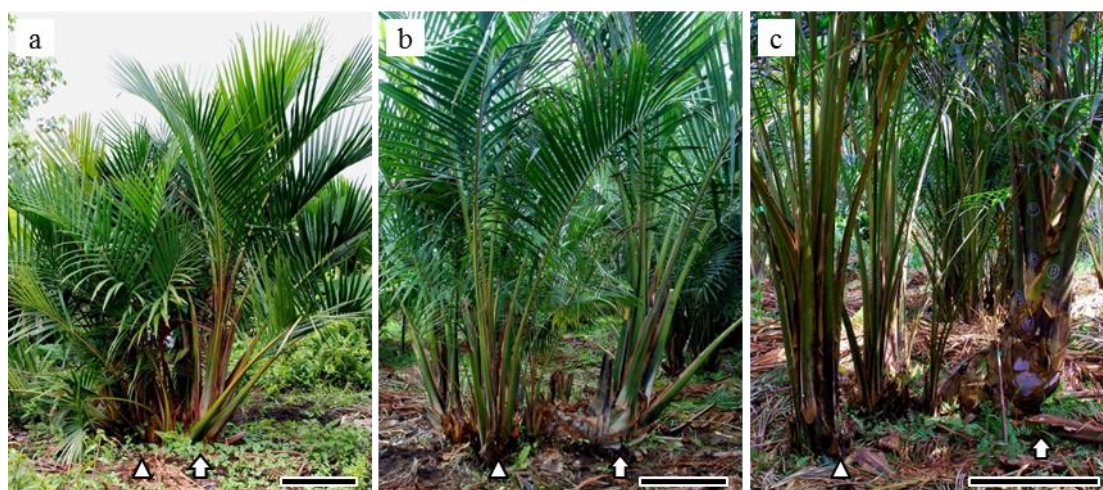
サゴヤシの利用の歴史は古く、先史時代から人類が利用してきたとされているが、そのほとんどは自生しているものを自家消費用に利用していたに過ぎない。インドネシアやマレーシアの一部の地域では、サゴヤシは換金作物としても栽培されてきたが、栽培管理は粗放的で、各農家の経験に依存しているのが現状である。このため、サゴヤシの生育や栽培管理に関する科学的な知見はほとんどなく、このことが現在のサゴヤシ農園で生産性を上げられない場合の一因と考えられている。サゴヤシを安定的、且つ持続的

に栽培できるようにするためには、移植したサゴヤシの基本的な生育を明らかにして、その生育に応じた栽培技術を確認する必要がある。本研究では、篤農家が管理する、マレーシア国サラワク州ムカ郊外のサゴヤシ農園において、移植栽培におけるサゴヤシの生育を明らかにすること、そして、その生育に応じた篤農家の栽培管理をまとめて、栽培技術の一般化を図ることを目的とした。

第2章 移植から幹立ちまでの生育

サゴヤシの繁殖は主に、地際付近から出現する分枝、すなわちサッカーを育苗した苗が用いられるが、移植したサッカー（以降、主茎とする）の生育に関する作物学的な知見はほとんどない。そこで本章では、主茎の生育を継続して調査し、特に茎の伸長に着目してその生育を明らかにするとともに、移植栽培における初期生育の基本的な位置づけをした。

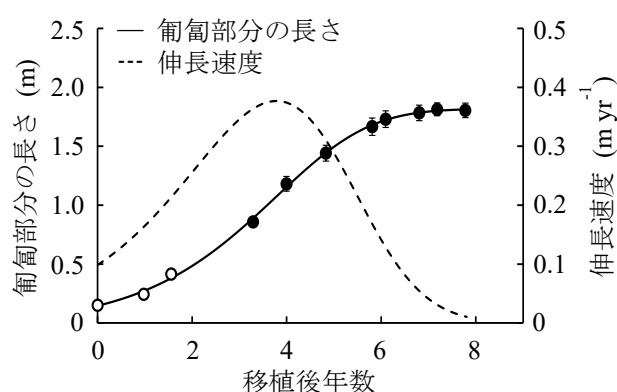
移植した主茎は地面を這うように水平方向へ匍匐成長をした（第1図 a, b）。その後、主茎は葉の展開に伴い、伸長が水平方向から垂直方向へ徐々に移行し、匍匐していた茎が大きな弧を描きながら立ち上がり、幹の形成が始まった（第1図 c）。水平方向への伸長は移植後 6.5 年目頃に約 1.8 m で止まり、その成長曲線はシグモイド曲線を描いた



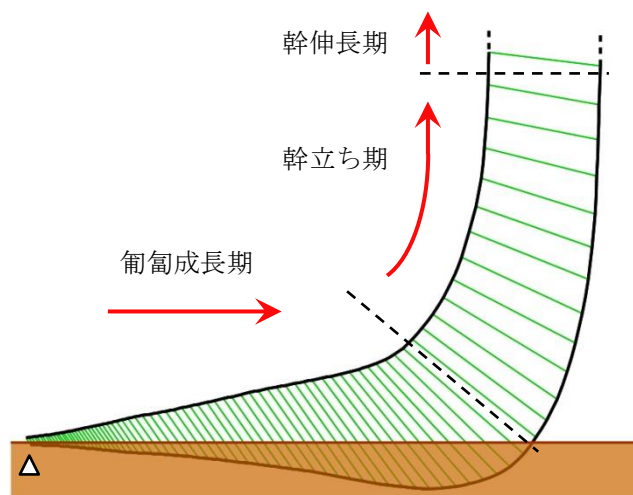
第1図 移植後のサゴヤシの生育。

a) : 移植後 2.9 年目, b) : 移植後 4.8 年目, c) : 移植後 5.8 年目のサゴヤシである。△は移植位置、矢印は推定される成長点の位置を示す。スケールバーは全て 1 m。

(第2図)．水平方向への伸長速度の最大値は移植後3.8年目に0.38 m/年になると推定された．移植したサッカの茎の伸長は，その伸長方向から匍匐成長期，幹立ち期，幹伸長期の3つの生育ステージに分けられると考えられた(第3図)．匍匐成長期は茎が匍匐成長によって移植位置から水平方向へ移動していく時期である．このため，移植栽培では，個体内さらにはサゴヤシ農園内における幹の位置が決定する重要な期間であった．



第2図 匍匐部分の長さの推移と伸長速度．



第3図 茎の伸長過程を表す節間の積み重ねの模式図．

△は移植位置，緑の実線(—)は葉の着生位置(節)を示す．

第3章 サッカーコントロール

サゴヤシは生育に従い多数の娘サッカー(1次サッカー)が出現し，1次サッカーからは2次サッカーが出現して，移植位置付近が藪状にな

る(第1図a)．ここで，1次サッカーを S_n ，2次サッカーを S_{n-m} と表記する． n ， m は着生位置の母茎基部からの順番を示しており，例えば，主茎の移植位置の最も近くに位置する1次サッカーは S_1 ， S_1 の出現位置に1番近い2次サッカーは S_{1-1} ，2番目は S_{1-2} とした．サゴヤシ栽培では1次サッカーや2次サッカーといった，主茎から派生したサッカー(子孫サッカー)を間引き，個体内の子孫サッカーの密度を調整するサッカーコントロールが重要である(第4図)．しかし，その方法に関する報告はほとんどなく，各農家の経験に依存しているのが現状である．そこで本章では，篤農家がサゴヤシの生



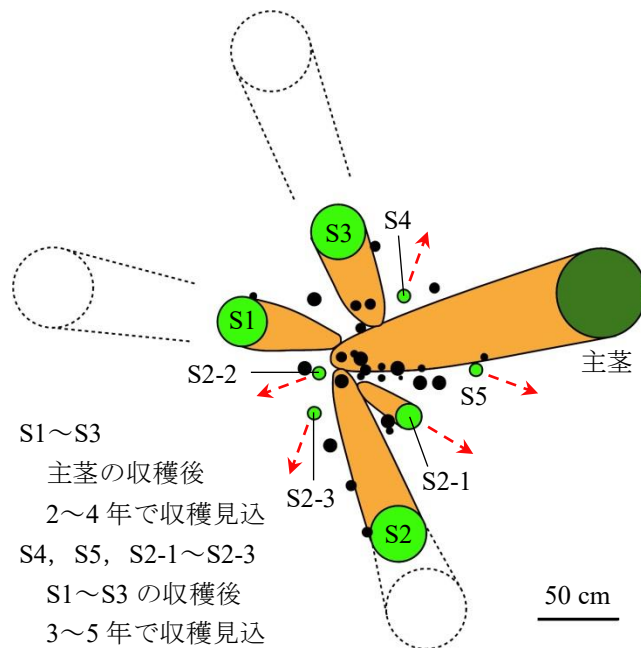
第4図 サッカーコントロールの様子.

a): サッカーコントロール前, b): サッカーコントロール後のサゴヤシである. 個体中央部の子孫サッカーが間引かれている.

育に応じて行うサッカーコントロールの考え方を調査し, 解析した.

サッカーコントロールは子孫サッカーの葉を葉柄の基部付近で切除して行っていた. 葉を切除するのは, 母茎を傷つけるのを避ける目的と, 子孫サッカーの生育を遅らせる目的があった. こうして, 子孫サッカーの葉を切除して生育を遅らせることで, 単に個体内の子孫サッカーの密度を調整するだけではなく, 匍匐成長の程度など, 生育ステージの異なる多様な子孫サッカーを個体内に生育させるようにしていた

(第5図). さらに, 篤農家は子孫サッカーでの匍匐成長の方向や収穫時の幹の位置も考慮に入れてサッカーコントロールを行っていた.



第5図 移植後5.8年目の個体(第1図c)における子孫サッカーの位置の模式図.

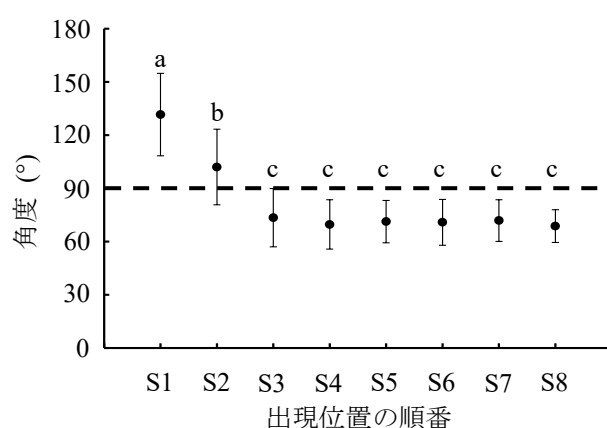
●は葉を切除していない子孫サッカー, ●は葉を切除している子孫サッカーを示す. ○は予測される収穫時の幹の位置, 矢印は推定される匍匐成長の方向を示す.

第4章 子孫サッカーの生育

サゴヤシは移植から収穫まで十数年を要するが, 主茎とともに1次サッカーや2次サッカーなどの子孫サッカーを生育させることで, 持続的な収穫が可能となる. しかしな

がら、子孫サッカの生育に関する知見はほとんどない。そこで本章では、子孫サッカが匍匐成長により、どのように水平方向へ広がり、また、どのように主茎とともに個体を形成していくのかを明らかにした。

子孫サッカは基本的には母茎の匍匐成長方向に対して約 70° の方向に匍匐成長をしていた。しかしながら、移植後初期に主茎から出現



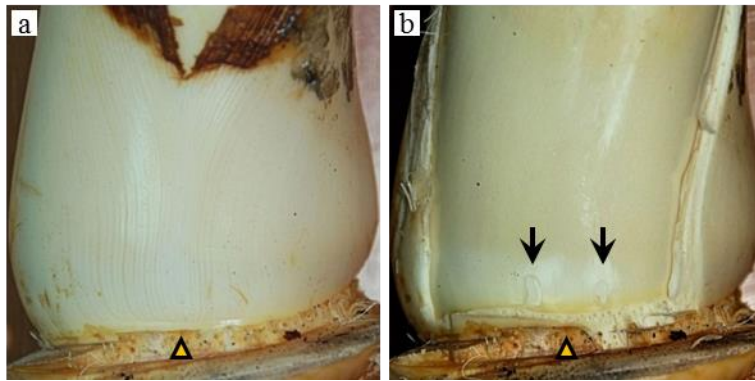
第 6 図 主茎における 1 次サッカの出現位置の順番と匍匐成長方向との関係。

エラーバーは標準偏差を表す。同一アルファベット間には 5%水準で有意差なし (Tukey 法)。

する 2 本の 1 次サッカ (S1 と S2) は主茎に対して鈍角方向へ匍匐成長をした (第 5 図参照, 第 6 図)。母茎では葉柄の基部が重なり合うように着生しているため、多くの子孫サッカは出現する方向が制限され、母茎の匍匐成長方向に対して鋭角方向に匍匐成長をすると考えられた。しかし、移植後初期ではその制限が小さいことに加え、主茎が急激に肥大することや他に子孫サッカが生育していないことなどの要因で主茎に対して鈍角方向へも匍匐成長をすると考えられた。サゴヤシ栽培では、初期に出現する 1 次サッカ (S1 と S2) は主茎とともに個体の骨格を決めるため、非常に重要なものである。さらに、主茎の匍匐成長方向とは反対側に匍匐成長をする 2 次サッカ (第 5 図; S2-2 と S2-3) も空間を有効に利用するために重要であると考えられた。

第 5 章 サッカ芽の分化・発達

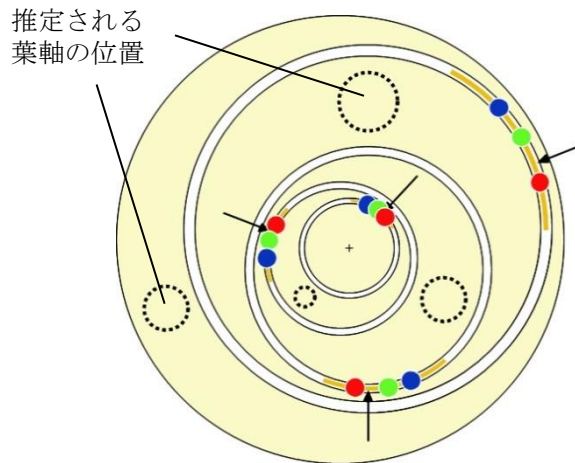
作物栽培において、分枝の挙動を把握することは生産性を向上させる上で極めて重要である。しかしながら、サゴヤシでは分枝であるサッカの成長に関する報告はほとんどなく、その原基からの発達に関しても報告はわずかである。そこで本章では、サッカに関する基礎的な知見を得るために、サゴヤシの側芽、すなわちサッカ芽が分化する位置や分化後の発達過程を明らかにすることを目的とした。



第7図 葉柄の両縁が融合する部分.

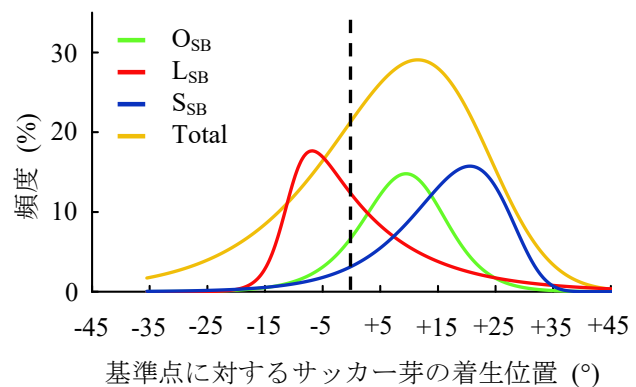
a): 葉柄の融合部分. 葉柄の両縁を走行する維管束が基部付近で融合した位置を基準点とした (△). b): 融合部分を取り除いた状態. 2つのサッカー芽が発達している (矢印).

サゴヤシでは, サッカー芽は葉腋とは反対側にあたる, 葉柄の両縁が融合する部分の内側に分化した (第7図, 第8図). サッカー芽は各葉位に1つだけではなく, 複数分化する場合もみられた. サッカー芽の分化は成長点付近を除くほぼ全ての葉位で確認できたが, 幹立ちした茎ではサッカー芽の分化は確認できなかった. サッカーの葉の付き方には時計回りと反時計回りとのがあるが, 時計回りのサッカーでは, サッカー芽の着生位置のピークが全体的に基準点よりも右側にずれていた (第8図, 第9図). サッカー芽が各葉位に1つだけ (O_{SB}) 着生している場合, そのピークは全体のピークとほぼ同じ位置にあり, 2つ着生している場合, より大きいサッカー芽 (L_{SB}) のピークは基準点付近,



第8図 サッカー芽の着生位置の模式図.

葉の付き方が時計回りのサッカーである. ■はサッカー芽の着生位置の範囲, ●は O_{SB} , ●は L_{SB} , ●は S_{SB} の頻度分布のピークの位置 (第9図参照), 矢印は基準点の位置, □は葉がついていた部分を示す.



第9図 サッカー芽の着生位置の頻度分布.

葉の付き方が時計回りのサッカーにおけるサッカー芽の着生位置の頻度分布を Richard 曲線で近似したものである. 破線 (---) は基準点の位置を示す.

もう一方の小さいサッカー芽 (S_{SB}) のピークは基準点から最も離れた位置にみられた。多くのサッカー芽は長さのみが伸長しており、長くなると蛇行していたが、中には芽全体が肥大して伸長しているものもみられた。このような芽はいずれも葉柄の融合部分の内側、すなわち基準点付近に位置していた。この位置は、葉柄の組織が極端に薄くなっており、新しい葉が抽出するのに従って徐々に基部に向かって裂けていく部分である。このため、葉柄による物理的圧迫が弱く、サッカー芽が大きく発達することができる位置であると推察された。

第 6 章 総合考察

本研究の結果、移植から主茎が幹を形成するまでの個体の生育と、その生育に応じた篤農家のサッカーコントロールの考え方を明らかにできた。さらに、サゴヤシ栽培において重要な役割を担う子孫サッカーについても、その分化や発達過程に関する基礎的な知見を蓄積することができた。このような観点での研究はこれまで報告されておらず、本研究の結果はサゴヤシの栽培技術の発展に大きく貢献するものと考えられる。

サゴヤシ栽培ではサッカーコントロールの適否が群落の生産性に大きく影響することは経験的に知られている。そこで本研究で得られた知見をもとに、持続的なデンプン生産が可能なサゴヤシ群落の初期の構築過程について検討した。初期の群落構築過程では、主茎を日射による乾燥から守り、栽培の労力を軽減するために、移植後 4 年目頃まで出現する子孫サッカーを全て生育させる。これ以降は、主茎と $S1$, $S2$ が形成する個体の骨格をもとに、主茎や $S1$, $S2$ の間の空間ごとに子孫サッカーを複数本生育させることが重要である（第 5 図参照）。さらに、葉を切除して生育を抑制しながら子孫サッカーを残すことで、最初に配置しておいた子孫サッカーが不良である場合に代替として、各空間にほぼ確実に子孫サッカーを配置できるようにすることも重要である。本研究では現地の慣行的な方法に従い、サッカーコントロールは半年に 1 回の頻度で行ったが、これが最適であるかどうかは明らかではない。今後、サッカーコントロールの頻度と個体の生育との関係についても検討することで、栽培技術の向上につながるかもしれない。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名	鍋谷 佳太
審 査 委 員	主査：教授 本間 香貴 副査：教授 南條 正巳 准教授 伊藤 豊彰
学 位 論 文 題 目	持続的なデンプン生産を目指したサゴヤシの群落構築過程の解析
論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨	
<p>サゴヤシ (<i>Metroxylon sagu</i> Rottb.) は幹 1 本あたり約 300kg のデンプンを収穫することができ、地際からサッカーと呼ばれる分枝を出現させ、幹を次々と形成するデンプン料作物である。こうした生産特性に加え、熱帯泥炭土壌においても土壌改良を行うことなく生産することができるため、環境保全型の作物としても着目されている。しかしながらこれまでの栽培管理は粗放的であり、生産性改善のためには栽培や生育に関する科学的な知見が必要とされている。本研究はマレーシア国サラワク州において篤農家が管理するサゴヤシ農園において移植されたサゴヤシの生育を明らかにし、栽培管理の影響評価を行った。</p> <p>移植されたサゴヤシは匍匐成長を行い、移植後約 3.8 年で水平方向への最大の伸長速度に達したのち、垂直方向への伸長を開始する。この伸長方向からサゴヤシの生育は匍匐成長期、幹立ち期、幹伸長期の 3 つの生育ステージに分</p>	

けられると考えられた。

サゴヤシは生育に伴い多数のサッカーが出現し、移植位置付近に藪を形成する。この密度および生育を調整するサッカーコントロールが、栽培管理では重要である。篤農家は匍匐成長後の幹立ちの位置に加え、生育ステージの異なる多様な子孫サッカーを個体内に生育させるように調整していることがわかった。子孫サッカーの生育を調査したところ、初期に出現する 1 次サッカーが主茎とともに個体の骨格を決めるため、非常に重要であると考えられた。

サッカー芽は葉腋とは反対側にあたる、葉柄の良縁が融合する部分の内側に分化した。サッカー芽の分化位置には一定のパターンが見られ、肥大伸長する芽はいずれも葉柄の組織が薄くなっている葉柄の融合部分の内側の中央（基準点）付近に位置していた。

以上の鍋谷佳太氏のサゴヤシの群落構築過程に関する基礎的な知見は、3 報の原著論文に公表され、今後の栽培技術の発展に大きく貢献するものと考えられる。従って審査員一同は、本論文が博士（農学）の学位にふさわしいものと判定した。